

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

KAASUMAISTEN KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN LEVIÄMINEN

Kandidaatin tutkielma

Kadetti
Tiina Syväniemi

Kadettikurssi 99
Maasotalinja

Maaliskuu 2015

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi 99kadk	Linja Maasotalinja
Tekijä Kadetti Tiina Syväniemi	
Tutkielman nimi KAASUMAISTEN KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN LEVIÄMINEN	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Maaliskuu 2015	Tekstisivuja 24 Liitesivuja 5
TIIVISTELMÄ <p>Tutkielma käsittelee kaasumaisten kemiallisten aineiden leviämistä ja niiden vaikutuksia altistuneisiin sotilaisiin. Leviämisen mallinnuksessa käytetään SUKEVA-ohjelmistoa. Leviämisessä otetaan huomioon levitysympäristön maastoluokka ja levitystapa, jolla kaasua levitetään. Tarkasteltavat maastoluokat ovat pelto, metsä ja kaupunki. Tarkasteltavina levitystapoina on hetkellinen ja jatkuva päästö. Kemiallisista taisteluaineista tarkasteluun on otettu jokaisesta tarkasteltavasta kemikaaliluokasta yksi, jonka vaikutusta sotilaisiin tarkastellaan. Valitut kemikaalit ovat tabuuni, CS, syaanivety ja rikkisinappikaasu.</p> <p>Tutkimuksessa käytetään tutkimusmenetelminä kirjallisuustutkimusta ja simulointia. Kirjallisuustutkimuksella selvitetään yleisesti käytössä olevia kaasuna levitettäviä kemiallisia taisteluaineita. Leviämisen simulointi tapahtuu SUKEVA-ohjelmistolla.</p> <p>Tuloksissa tarkastellaan leviämisalueiden prosentuaalisia muutoksia maastoluokan ja levitystavan muuttuessa. Lopuksi tarkastellaan kemiallisten taisteluaineiden vaikutusta levittämisalueella. Vaikutusta tarkastellaan alueella, jolla kemikaalin myrkytysoireet ovat maksimaaliset 50 % altistuneesta joukosta. SUKEVA-ohjelmisto ei ota huomioon taisteluaineiden kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien vaikutusta leviämiseen.</p> <p>Tutkimuksesta voidaan todeta, että hetkellinen levitystapa levittää kemiallisia aineita tehokkaammin haluttuun suuntaan, kun jatkuva. Jatkuvalle levitystavalle saatiin leveämpiä levitysalueita. Taisteluaineiden vaikutus joukon toimintakykyyn riippuu täysin aineen aiheuttamista myrkytysoireista sekä niiden vaikutusajasta.</p>	
AVAINSANAT Kemiallinen taisteluaine, SUKEVA, suojele	

KAASUMAISTEN KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN LEVIÄMINEN

Sisältö

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimus	3
2.	KEMIALLISTET ASEET	5
2.1.	Kemiallisina taisteluaineina käytettyjä yhdisteitä.....	5
2.1.1.	Hermokaasut	5
2.1.2.	Syövyttävät kaasut	6
2.1.3.	Ärsyttävät ja tukehduttavat kaasut	7
2.1.4.	Yleismyrkylliset kaasut.....	7
2.2.	Kemiallisten taisteluaineiden levitysmekanismit.....	8
2.2.1.	Jatkuva ja puolijatkuva levitystapahtuma	8
2.2.2.	Hetkellinen levitystapahtuma.....	9
3.	KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN LEVIÄMINEN	10
3.1.	Kemiallisten taisteluaineiden leviämisen mallintaminen.....	10
3.2.	Sääolosuhteiden ja maaston vaikutukset kaasujen leviämiseen.....	11
3.3.	Kemiallisten taisteluaineiden vaikutus kaasupilven leviämiseen	12
3.4.	Kemiallisten taisteluaineiden levitysmekanismien vaikutus kaasupilven leviämiseen .	12
4.	KAASUJEN LEVIÄMINEN	13
4.1.	Kaasun leviäminen metsässä.....	14
4.2.	Kaasun leviämien avoimella pellolla	15
4.3.	Kaasun leviämien kaupungissa	17
4.4.	Tulokset.....	19
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET	22
	LÄHTEET	1
	LIITE 1 KAASUNA LEVITETTÄVÄT TAISTELUAINEET	1
	LIITE2 KEMIALLISTEN AINEIDEN LEVIÄMIEN	1

KAASUMAISTEN KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN LEVIÄMINEN

1. JOHDANTO

Taisteluaineiksi luetaan radioaktiiviset, biologiset ja kemialliset yhdisteet, joita valmistetaan sotilaalliseen käyttöön [1]. Tässä tutkielmassa tarkastellaan vain kemiallisia taisteluaineita. Kemiallisilla taisteluaineilla tarkoitetaan sotilaalliseen käyttöön tarkoitettuja kemiallisia yhdisteitä joilla pyritään vaikuttamaan vastustajan toimintakykyyn [2, s.37]. Tutkimuksessa tarkastellaan kemiallisten taisteluaineiden leviämistä kaasuna ilmassa. Leviämisen mallinnukseen käytetään SUKEVA-ohjelmistoa. Leviämisessä huomioidaan kemiallisen taisteluaineen levitystapa sekä maastoluokka. Kemiallisista aineista tarkastelun kohteeksi on otettu yksi aine kustakin tarkasteltavasta kemiallisten taisteluaineiden kemikaaliluokasta, jonka vaikutusta altistuneisiin sotilaisiin tarkastellaan. Tarkasteltavat aineet ovat CS, tabuuni, syaanivety ja rikkisinappikaasu, koska niiden vaikutuksen sotilaan toimintakykyyn maksimialtistumisalueella ovat oman kemikaaliluokkansa suurimmat.

Kemiallinen ase tarkoittaa asejärjestelmää, jolla kemiallisia taisteluaineita levitetään eri menetelmin [3, s.14]. Levitysmenetelminä toimivat esimerkiksi tykistöaseet, lentopommit, miinat tai sumutteet [3, s.14]. Ase koostuu myrkytysvaikutuksen aiheuttavasta kemikaalista, aseiden kuljetukseen ja ampumiseen tarvittavista rakenteista, sekä kuljetus- ja maaliinsaattamisvälineistä [4, s.67]. Kemiallisessa aseessa taisteluaine voi olla jo sellaisenaan aseessa tai lähtöaineina jotka reagoivat keskenään muodostaen myrkyllisen kemikaalin vasta ammusta laukaistaessa [3, s.15]. Kemiallisia taisteluaineita voidaan levittää myös veden ja elintarvikkeiden kautta, mutta tutkimuksessa keskitytään ainoastaan ilmassa kaasuna tapahtuvaan levitykseen, sekä suojautumattoman sotilaan altistumiseen ilman kautta. Nopein ja tehokkain tapa levittää taisteluaineita on ilman kautta kaasuna, aerosolina, pisaroina, nesteinä tai hiukkasina. Ilmasta tapahtuva levitys tapahtuu lentokoneista, ohjuksilla, raketeilla, tykistön ammuksilla, lentopommeilla ja muilla erilaisilla laukaisu alustoilla, kuten esimerkiksi puhalluslaitteilla. [4, s.76]

Viitteitä ensimmäisistä kemiallisten aseiden käytöstä on löytynyt jo Antiikin Kreikasta ja laajamittainen käyttö modernissa sodankäynnissä aloitettiin ensimmäisessä maailmansodassa [5]. Antiikin Kreikkalaiset keksivät käyttää niin sanottua ”Greek Fire” nimistä palotapahtumaa joka muodosti kaasuja, jotka haittasivat hyökkääjiä eri tavoin. 1800-luvulla kemianteollisuus kehittyi. Värjäysteollisuudessa huomattiin, että tuotannon sivutuotteina syntyi toimintakykyä lamauttavia aineita. Ei mennyt aikaakaan kun nämä lamauttavat sivutuotteet valjastettiin aseiksi. Ensimmäinen operatiivinen kemiallinen ase oli käytössä 1912 Ranskan armeijalla. Ranskalaiset olivat kehitelleet käsikranaatteja, joissa oli etyylibromiasetyylillä, joka on kyynekanavia ärsyttävä aine. Aineen tarkoitus oli ajaa vastustajat pois bunkkereistaan kranaattien avulla. Sillä ei kuitenkaan ollut näkyvää vaikutusta vastustajiin, koska se haihtui hyvin nopeasti avoimissa tiloissa. Ranskalaiset luopuivat tämän jälkeen kemiallisten aseiden kehittelystä. Saksa kuitenkin huomasi Ranskan kemiallisten aineiden hyväksikäytössä mahdollisen kehitysalueen. He valjastivat 105 mm haupitsin kranaatteja dianiittikloorisulfaattilla, joka ärsyttää limakalvoja. Kranaatit ammuttiin brittiläisiä joukkoja kohti 27.10.1914. Vaikka nämä haupitsin kranaatit eivät olleet ranskalaisten käsikranaattikokeilua tehokkaampia, tämä oli ensimmäinen kerta kun kemiallista sodankäyntiä käytettiin laajamittaisesti osana muista sodankäyn-
 tiä. Ensimmäinen tehokas kemiallinen taisteluaine käyttö oli vuonna 1915 kun saksalaiset keksivät valjastaa kloorikaasun kaasusylintereihin, jotka ammuttiin tykistöllä vastustajan puolustuslinjoihin. Hengitykseen joutuessaan kloorikaasu muodostaa runsaan määrän limaa keuhkoihin, jonka aiheuttamana sille altistuneet henkilöt tukehtuivat keuhkojen täytyessä nesteestä. Yksittäisissä hyökkäyksissä kuoli jopa tuhansia ihmisiä. Aine oli kuitenkin hankalasti käsiteltävää, joten kloorikaasu korvattiin fosgeenillä eli karbonyylikloridilla ja useilla sinappikaasun eri muodoilla. Ensimmäisen maailmansodan jälkeen oli löydetty jo 3000 erilaista kemiallista yhdistettä, joita voitaisiin käyttää sotilaallisiin tarkoituksiin. Useat valtiot kehittivät aktiivisesti 1920-1930-luvulla kemiallisten taisteluaineiden valikoimaansa. Vuonna 1928 saksalainen tiedeprojekti toi maailman kartalle uuden löydöksen hermokaasut sariinin ja tabuunin. 1945 kehiteltiin uusi hermokaasu somaani. Hermokaasut ovat tappavia jopa ihon kautta, josta ne leviävät koko ruumiiseen aiheuttaen hallitsemattomia lihaskouristuksia. Toisen maailmansodan aikana Iso-Britannia ja Yhdysvallat heräsivät kemiallisten aseiden tärkeyteen huomatessaan Natsi-Saksan sekä Venäjän hyötyvän sodankäynnissä kemiallisten aseiden käytöstä. Uusia suuria kemiallisten taisteluaineiden ohjelmia perustettiin ja vuonna 1952 Yhdysvallat toivat suurtuotantoon taisteluaineen koodinimeltään VX, joka oli tehokkain tähän asti kehitetty kemiallinen taisteluaine. Kun kemiallisten taisteluaineiden tuotanto kasvoi, alkoi näiden vaarallisten aineiden suurien määrien käsittely hankaloitua. 60-luvun lopussa alettiin kehitellä binäärisiä aseita, joissa taisteluaine ei ole vielä myrkyllisenä aineena, vaan kahtena

tai useampana lähtöaineena. Itse taisteluaine syntyy vasta aseiden lauetessa, kun lähtöaineet pääsevät reagoimaan keskenään. [6, s.13-21]

Tällä hetkellä maailmalla kemiallisten aseiden käyttöä on pyritty rajoittamaan kieltosopimuksilla. CWC – kieltosopimus kieltää aseiden kehittämisen, valmistamisen, käytön ja luovuttamisen. Sopimuksen on allekirjoittanut 188 valtiota mukaan lukien suurvaltiot Yhdysvallat ja Venäjä. [1]. Sopimus ei kuitenkaan rajoita kemiallisten aineiden valmistamista tai säilytystä. CWC -kieltosopimus tähtäsi kemiallisten aseiden hävittämiseen vuoden 2012 huhtikuuhun mennessä [1]. CWC- kieltosopimus ei kiellä kemiallisten aseiden käyttöä valtioiden sisäisissä joukkojen hallinta tilanteissa vaan kielto koskee pelkästään sotilaallista käyttöä [3, s15]. Kemiallisia aseita on käytetty viimeisten vuosien aikana esimerkiksi Syyriassa, joka ei kuulu CWC kieltosopimuksen piiriin. Syyriassa käytetty kemiallinen taisteluaine ammuttiin rakeilla ja iskun-tekijät arvioivat iskun vaatineen yli 1000 uhria [7].

Oman mielenkiinnon kohteena ovat kaasuna levitettävät kemialliset taisteluaineet, niiden ominaisuudet, aineiden vaikutus sotilaan toimintakykyyn sekä levitysympäristön ja levitystavan vaikutuksia aineen leviämiseen. Taisteluaineiden leviämiseen taistelukentällä vaikuttaa useita eri muuttujia: levitettävä aine, maasto ja sää [2, s.39]. Näiden muuttujien tunteminen ja niiden vaikutusten tiedostaminen helpottaa arvioimaan kemiallisten taisteluaineiden käyttäytymistä vallitsevassa toimintaympäristössä. Mitä tarkemmin kemiallisten taisteluaineiden käyttö ja leviäminen voidaan taistelutilanteessa arvioida, sitä paremmin niiden käyttöä vastaan voidaan valmistautua.

1.1.Tutkimus

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kemiallisten aseiden kaasuna levitettävien aineiden leviämismahdollisuuksia kohdealueella sotateknisestä näkökulmasta tarkastellen. Tutkimus vastaa kysymyksiin:

1. Mitä kemiallisia taisteluaineita levitetään kaasuna ilmaan?
2. Mitkä ovat näiden kemiallisten taisteluaineiden vaikutus toimintakykyyn?
3. Mitkä ovat levitysympäristön ja levitystapojen vaikutukset taisteluaineiden leviämiseen?

Tutkimuksessa käytetään kirjallisuustutkimusta sekä simulointia. Tutkimuksessa käytetään SUKEVA-leviämislaskentaohjelmistoa mallintamaan kaasujen leviämistä ilmassa. Mallinnuksia käytetään todentamaan kaasujen leviämistä.

Tutkimuksessa huomioidaan vain ilman kautta kaasuna tapahtuva kemiallisten aineiden levitys, koska ilmassa tapahtuva levitys on tehokkain tapa levitykselle ja tämän takia sotilaallisesti merkittävin tapa [4, s.76]. Aineiden leviämisessä huomioon otettavat tekijät ovat: levittämistapa, kohdealueen maantieteellinen luokittelu sekä itse kemiallisen aineen leviämisominaisuudet. Maantieteellisistä luokista otetaan kolme erilaista taistelukenttää tarkasteluun joilla taistelukaasujen leviämistä tarkastellaan: aukea maasto esim. pelto, metsä sekä kaupunkialue. Kemiallisista aineista käsitellään yleisimmät sotilaskäytössä olevat kemialliset taisteluaineet jotka vaikuttavat kohteisiin suoraan ilmasta kaasulomuodossa. Sääolosuhteiden tarkempaa tarkastelua ei kaasujen leviämisessä oteta huomioon, sillä kaasut pyritään levittämään mahdollisimman lauhkeissa olosuhteissa. Tällöin kaasun levittäjän on helpompi arvioida kaasun suuntautumista ja vaikutus haluttuun kohteeseen on mahdollisimman tehokas.

Tutkielman ensimmäinen kappale kertoo yleisesti kaasuna levitettävistä kemiallisista taisteluaine yhdisteistä sekä niiden vaikutuksen perusteista. Samassa kappaleessa käydään läpi erilaisten levitys mekanismien toimintaperiaatteet ja levitystavat, joita kemiallisissa aseissa käytetään ja niiden perustoiminta-ajatukset. Toinen kappale käsittelee kemiallisten taisteluaineiden leviämisominaisuuksia sekä olosuhteiden vaikutuksesta kaasujen leviämiseen. Kappaleessa tuodaan esille yleisiä kaasujen leviämismalleja, joilla taisteluaineiden leviämistä selitetään. Kaasujen leviämisen mallinnuksessa käytetään puolustusvoimien SUKEVA-ohjelmistoa. Kolmannessa kappaleessa tarkastellaan kaasujen leviämistä erilaisissa maastoluokissa erilaisilla levitystavoilla.

2. KEMIALLISET ASEET

Kemiallisia aseita käytetään joko itsenäisesti tai täydentämään muiden aseidenvaikutusta [8, s.14]. Haluttu vaikutuksia viholliseen kemiallisten aseiden käytöllä on useita. Vihollinen voidaan haluta taistelukyvyttömäksi, tai sen toimintoja voidaan haluta vain estää, hidastaa tai häiritä. Kemiallisia aseita voidaan käyttää myös tehokkaasti ei-sotilaallisiin kohteisiin vaikeuttamaan siviiliväestön tai teollisuuden normaalitoimintoja. Pääperiaatteena kemiallisten aseiden käytölle on, että nopeasti vaikuttavia ja nopeasti haihtuvia kemiallisia taisteluaineita käytetään alueille, jolle aseiden käyttäjä on itse pyrkimässä. [2, s.38]

2.1. Kemiallisina taisteluaineina käytettyjä yhdisteitä

Kemialliset taisteluaineet voivat olla kaasumaisia, nestemäisiä ja kiinteitä [4, s.67]. Niiden käytöllä pyritään tuottamaan kuolemaa tai pysyviä vaurioita ihmisiin, eläimiin tai kasveihin [3 s.14]. Kemiallisina taisteluaineina toimivat useat erilaiset kemialliset yhdisteet. Ne jaotellaan vaikutustavan perusteella kuuteen luokkaan: hermokaasut, syövyttävät kaasut, ärsyttävät ja tukehduttavat kaasut, yleismyrkylliset kaasut, psykokemialliset aineet ja kasvintuhoaineet. [4, s.69]. Kemialliset taisteluaineet voidaan jakaa niiden vaikutusten mukaan kolmeen kategoriin: kuolettaviin, toimintakykyä alentaviin ja kasvintuhoaineisiin. Ihmiseen ne vaikuttavat joko ihon kautta imeytyen tai hengityksen ja limakalvojen kautta. Kemiallisten taisteluaseiden tuho vaikutus ei perustu räjähtävään voimaan vaan taisteluaineen myrkytysvaikutukseen. Tyyppisimpiä myrkytysvaikutuksia ovat ihovammat. [9, s.83] Aineiden vaikutukset myrkyllisellä kemikaalilla saastutetulla alueella vaihtelevat muutamista minuuteista jopa kuukausiin riippuen siitä mitä kemikaalia on käytetty, missä muodossa sitä on levitetty ja miten se on levitetty [4, s.69]. Levitys olomuotoja, joilla kemiallisia taisteluaineita voidaan levittää, on kaksi. Kemialliset taisteluaineet levitetään ympäristöön joko ilmakaasuina tai maastokaasuina. Ilmakaasussa taisteluaine on kaasu- tai aerosolimuodossa, jolloin kemikaali sekoittuu ja haihtuu nopeasti ilmaan. Maastokaasuissa kemikaali on sitkostettuna nesteinä tai kiinteässä olomuodossa, jolloin ne haihtuvat hitaasti ja aiheuttavat pitkä aikaisia haittavaikutuksia saastuneelle alueelle. Tässä tutkimuksessa keskitytetään ainoastaan ilmassa kaasuina leviäviin aineisiin. [4, s.69] Kemiallisia taisteluaineiden vaikutusta tarkasteltaessa on tutkimukseen valittu kustakin kemiallisten taisteluaineiden ryhmästä yksi esimerkki kemikaali [LIITE 2]. Tutkielman ulkopuolelle jäävät psykokemialliset ja kasvintuhoaineet, koska näille altistuminen ei tapahdu ilmasta vaan elintarvikkeiden ja kasvien välityksellä. [2, s.38]

2.1.1. Hermokaasut

Tabuuni, sariini, ja somaani ovat kaasuina levitettäviä hermokaasuja. Hermokaasut ovat kemiallisista taisteluaineista myrkyllisimpiä ja vaarallisimpia. Ne ovat olomuodoltaan nesteinä,

mutta niitä voidaan levittää myös aerosoleina tai lisääineisiin sitkostettuina. Hermokaasut ovat lähes hajuttomia ja värittömiä. Niitä voidaan käyttää ilmakaasun ja maastokaasun lisäksi myös sabotaasimyrkkyinä. [4, s.71] Niiden teho perustuu fosforihappoestereihin, jotka estävät asetyylikoliiniesteraasientsyymien biologista aktiivisuutta [5, s.19]. Hengitettynä hermokaasut johtavat lähes aina kuolemaan. Ne vaikuttavat nopeasti ihon tai hengitysteiden kautta [5, s.83-84, s.89-92]. Tästä taisteluaine luokasta tarkastelun kohteeksi on valittu tabuuni koska se on tutkimuksen hermokaasuista myrkyllisin. [9]

2.1.2. Syövyttävät kaasut

Yleisimmin käytetyt syövyttävät kaasut ovat sinappikaasu, typpisinappikaasu, nokkoskaasut ja levisiitti. Ne ovat tehokkaita ja monivaikutteisia taistelukaasuja. Ne levitetään yleensä nesteinä tai sitkostettuina maastokaasuina. Ne ovat värittömiä tai kellertäviä ja miedosti tuoksuvia. Syövyttävien kaasujen pisarat tukeutuvat varusteiden ja ihon läpi ja höyryt pääsevät elimistöön silmien limakalvojen tai hengityksen kautta. [4, s.71]. Niiden vaikutus perustuu alkyloiviin aineisiin, mitkä tuhoavat soluja vaurioittamalla solujen nukleiinihappoja [5, s.16].

Sinappikaasut vahingoittavat ihoa, silmiä ja hengityksen limakalvoja. Oireet ilmaantuvat noin tunnin viiveellä altistumisesta. Voimakas altistuminen aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia, vatsakipua, ripulia ja yleistä voimattomuutta. Ihonaltistuessa iholle nousee vetisiä rakkuloita. Aineen päästessä hengitykseen voi aiheuttaa kuolioita kurkunpään, henkitorven ja keuhkojen lima kalvoille. Silmiin joutuessaan sinappikaasut aiheuttavat märkimistä ja tulehdusta. Myöhäisoireina vuosien kuluttua on altistuneilla havaittu hermoston ja ruoansulatuselinten sairauksia ja syöpää. Sinappikaasut vaikuttavat DNA ja RNA molekyylien, solukalvojen proteiiniin ja bioproteiinien kanssa. Levisiitti on sinappikaasujen tavoin kosketusmyrky. Toisin kuin sinappikaasuissa oireet ilmenevät välittömästi ja levisiitillä on suuri yleismyrkyllisyys aiheuttaen keuhkopöhöä, ripulia, heikkous ja alentunut verenpaine. Nokkoskaasut fosgeenioksiimi ja difosgeenioksiimi ärsyttävät voimakkaasti ihoa ja hengityselimiä. Nimikkeen nokkoskaasu nämä kemialliset taisteluaineet saavat niiden aiheuttamista kosketusoireista ihoon, joka on samanlainen kuin nokkosella. Polte leviää koko ruumiiseen, vaikkei koko ruumis ole ollut vaikutuksen alaisena. [10, s.86-88] Kaikki sinappikaasut ovat lähtökohtaisesti maastokaasuja sekä, kiinteää seskvisinappikaasua lukuun ottamatta, nesteitä. Sinappikaasua voidaan kuitenkin levittää myös kaasuna. Levisiitti vaikuttaa nopeammin kuin sinappikaasu. Sitä valmistetaan etyynistä ja se liukenee helposti muihin hermokaasuihin. [5, s. 17] Syövyttävistä aineista tarkastelun kohteeksi on nostettu rikkisinappikaasu, koska se on yleisimmin käytetty syövyttävä kemiallinen taisteluaine. [9]

2.1.3. Ärsyttävät ja tukehduttavat kaasut

Ärsyttävien ja tukehduttavien taistelukaasujen tehtävät eivät ole nimensä mukaisesti vaikuttaa kohteisiin kuolettavasti, vaan ajaa kaasulle altistuneet joukot tilaan, jossa niiden suorituskyky heikkenee joko myrkytysvaikutuksesta tai sen vastaisten suojelutoimenpiteiden viemien resurssien johdosta. Näihin kaasuihin lukeutuvat kyynelkaasut CS, CN, CR, CA, CNC, CNB ja CNS. Muita tähän kategoriaan lukeutuvia aineita ovat Clark-1, Clark-2, fosgeeni ja adamsiitti, jotka ovat tukahduttavia aineita. Yleisimmät ärsytys- ja myrkytysoireet ovat limakalvojen, hengityselinten ja ihon ärtymys joista aiheutuu kyynelvuotoa, hengitysvaikeuksia ja pahoinvointia. [4, s.71–73] Aineet eivät imeydy ihon läpi, vaan tarvitsevat limakalvokosketuksen. [9, ärsyttävät aineet]

Ärsyttäväksi kaasuiksi lukeutuvat kyynelkaasut.. Vaikutus tukehduttavilla aineilla perustuu keuhkorakkuloiden seinämien vaurioittamiseen, jonka seurauksena kohteen keuhkot täyttyvät kudospaineella. Fosgeeni on raskaampaa kuin ilma. Se on syttymätön ilmakaasu. [5, s.15- 16] Ärsyttävät ja tukahduttavat taisteluaineet voidaan jaotella myös niiden yleisimmän myrkytysoireen mukaisesti Kyynel-, aivastus- ja oksennuskaasuihin. Jo aikaisemmin mainittujen kyynelkaasujen ulkopuolelle jäävät aineet lukeutuvat aivastus ja oksennuskaasuihin.[10, s.84][9, ärsyttävät aineet]

Tutkimuksessa tarkasteltava ärsyttävä kemiallinen taisteluaine on CS. CS on, CN mukaan luettuna, yleisimmin käytettyjä ärsyttäviä kemiallisia taisteluaineita. Se haihtuu ympäristöstä CN hitaammin, jolloin se saa altistuneen joukon toimintakyvyttömäksi pitempään saastuttaessaan joukot. [9]

2.1.4. Yleismyrkylliset kaasut

Tavallisimmat yleismyrkyt ovat syaanivety ja kloorisyaani. Niiden vaikutusaika on lyhyt, joten ne toimivat tehokkaasti vain jos niitä vastaan ei ole suojauduttu ja altistuva joukko on maksimi oireita vaikuttavalla alueella. Yleisimmin yleismyrkyt levitetään kaasumuodossa, koska niiden haihtuminen on nopeaa. Ne vaikuttavat hengityselinten kautta ja aiheuttavat pääsärkyä, limakalvojen ärtymistä sekä pieninäkin pitoisuuksina keskushermoveurioita. [4, s. 73]

Yleismyrkyllisistä aineista käytetään myös nimeä verikaasut. Ne ovat nopeasti vaikuttavia hengitysmyrkkyjä, jotka estävät hapen saannin. [5, s. 84] Syaanivety on soluhengitysmyrkky, sitoen voimakkaasti sytokromioksidaasi Fe^+ entsyymiä estäen sen toiminnan. Tämä aiheuttaa, ettei veressä oleva happi pysty siirtymään soluihin, josta seuraa soluhengityksen salpautuminen ja hapenpuute soluissa. Laskimoveren oksihemoglobiinipitoisuus kasvaa. Tappava annos syaanivety on noin 1mg ihmisen painokiloa kohti. Kloorisyaani aiheuttaa voimakasta ärsytystä silmiin ja myrkyllisyydeltään puolet syaanivedyn myrkyllisyydestä. [11, s.88–89]

Tutkimuksessa yleismyrkyllisistä aineista tarkastellaan syaanivetyä, koska se on tavanomaisimpia verikaasuja ja on kaksi kertaa myrkyllisempi kuin kloorisyaani [11, s.88–89]

2.2.Kemiallisten taisteluaineiden levitysmekanismit

Koska taisteluaineiden levittämiseen käytetään monia erilaisia menetelmiä, vaikuttavat ne myös itse kemikaalin leviämiseen [12, s.14]. Aineita voidaan levittää suoraan ilmaan säiliöitä tai puhalluslaitteilla tai ne voidaan ampua ammuksissa [4, s.76]. Ammuksissa käytettävä kemikaalit eivät ole aina valmiiksi levitettävänä myrkkynä, vaan vasta aseiden laukaisun jälkeen lähtöaineet muodostavat leviävän kemikaalin. Tällöin puhutaan binäärisestä aseesta. [4, s.77]. Erilaisia kemikaaleja voidaan ampua lähes jokaisen kranaatteja, raketteja ja ohjuksia ampuvan asejärjestelmän mukana [4, s.76]

Ilmakaasujen leviämistavat voidaan jakaa SUKEVA:n mukaan kolmeen erilaiseen leviämistapahtumaan, joiden alle erilaiset levitysjärjestelmät kuuluvat: hetkellinen, jatkuva ja puolijatkuva levitys. [13, s.11–13]

2.2.1. Jatkuva ja puolijatkuva levitystapahtuma

Jatkuva levitystapahtuma on pitkäaikainen kaasuvuoto. Tällaisia levitysmekanismeja ovat esimerkiksi erilaiset suoralevitysmekanismit: linjalevitys, puhaltimet ja muut erilaiset säiliövuodot. [10, s.100] Savuheitteet lukeutuvat levitys tavoiltaan jatkuviin levitystapahtumiin, koska aine ei purkaudu kerralla ulos säiliöstä vaan levitys voi kestää useita minuutteja.

CS:ää voidaan levittää erilaisina savuammuksina ja – heitteinä. Tabuunia ja rikkisinappikaasua voidaan levittää spray-levityksenä erilaisilla puhalluslaitteistoilla. [9] Vetysyanidia voidaan myös levittää jatkuvalla levityksenä. Koska sillä on nopea haihtuvuus, jatkuva levitys takaa että levitysalueella levitettävä kemikaali pysyy maastossa. Jatkuvan levityksen esimerkkejä vetysyanidista on esimerkiksi 2. Maailmansodan keskitysleirit, joissa saksalaiset käyttivät vetysyanidia vankeja kohtaan. Tällöin leviämisalue oli kuitenkin rajattu suljettuihin tiloihin, jolloin levitettävän kaasun määrän ei tarvinnut olla suuri. [14]

2.2.2. Hetkellinen levitystapahtuma

Hetkellisessä levittymistavassa on yleensä kyseessä räjähdys. Tähän kategoriaan kuuluu erilaiset kranaatit, raketit, miinat ja ohjukset. [10, s.100]

Kranaatinheittimillä voidaan levittää erilaisilla ammuksilla seuraavia kemiallisia taisteluaineita: sariini, somaani, VX ja levisiitti. Kantama kranaatinheittimillä on 5-10 km ja ammuksessa on taisteluainetta kahdesta kolmeen kilogrammaan. Kenttätykistön kalustolla voidaan ampua samoja kemikaaleja kuin kranaatinheittimillä, mutta kantama kasvaa 10–40 kilometriin ja taisteluainetta tykistöammukseen mahtuu yhdestä kilosta seitsemään kiloon asti. Käsikranaateissa käytetään vain käyttäjälle mahdollisimman vähäistä haittaa tuovia taisteluaineita kuten kyynelkaasu CS:ää. [5, s. 31]

Raketinheittimillä voidaan ampua levisiitti pois lukien samoja aineita kuin kranaatinheittimillä. Kantama raketinheittimillä on sama kuin tykistöammuksilla eli 10- 40 kilometriä. Taisteluainetta putkea kohti mene kahdesta kahteenkymmeneen kiloon. [5, s.31]

Muita erilaisia ammusrakenteita, joilla kemiallisia taisteluaineita voidaan levittää, ovat erilaiset lentopommit, miinat ja ohjukset. Ohjuksilla kantama voi olla lähes 600 kilometriä ja taistelu ainetta voi olla yli viisisataa kilogrammaa. Lentopommeilla ei ole kantamaa, sillä ne tiputetaan suoraan kohteeseen koneesta. Taisteluainetta lentopommeissa on 50- 300 kg. Mii-noissa käytetään taisteluaineina VX ja sinappikaasua ja taisteluainetta miinassa on noin 5 ki-loa. [5, s.31]

3. KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN LEVIÄMINEN

Matemaattis-fysikaalisten laskentamallien avulla voidaan arvioida kemiallisten taisteluaineiden leviämistä ilmassa [12, s.11]. Tekijöitä, jotka vaikuttavat kemiallisten aineiden leviämiseen ampumisen jälkeen tietyllä asejärjestelmällä tai levitystavalla ilman kautta, ovat aineen omien ominaisuuksien lisäksi ympäröivät olosuhteet kuten ympäröivä maasto ja hallitseva sää vaikuttavat kaasujen leviämiseen [4, s.78]. Sään vaikuttavat tekijät leviämiseen ovat tuuli, lämpötila, ilmanpaine sekä ilmankosteus [4, s.80]. Mallinnusohjelma, jonka kaavoja ja tietoja käytetään, on SUOjelman VAaranhallinnan KEnttähallintasovellus eli SUKEVA.

3.1.Kemiallisten taisteluaineiden leviämisen mallintaminen

2014 valmistunut SUKEVA- ohjelma antaa arvioita ja mallinnuksia kemiallisten taisteluaineiden leviämiseen. Ohjelmalla voidaan mallintaa erilaisissa leviämistilanteita levitettävän aineen, olosuhdetietojen (Maasto, lämpötila, sääluokka, tuulennopeus) ja leviämisalueen mukaan. Ohjelmassa on myös mallin lisäksi leviämisarvio, joka toimii nopeana arviona, jossa otetaan huomioon leviämissuunta, tuulennopeus, levitystyyppi, säätyyppi. SUKEVA- ohjelmistosta löytyy myös Tipa-tietokanta, josta löytyy sotilaallisessa käytössä olevista taisteluaineista kertova tietokanta. SUKEVA:lla voidaan myös mallintaa kaikkien taisteluaineluokkien leviämistapahtumia. Tässä tutkimus keskittyy kemiallisten taisteluaineiden mallin leviämisen kaavaan.

Leviämisen mallinnuksessa SUKEVA käyttää kolmea leviämisparametria. Leviämisparametreja on kolme: tuulensuunnassa tapahtuvaa leviäminen, säätilan stabiilius sekä maaston ja säätilan vaikutuksesta leviämiseen. Ohjelma piirtää kaasupilven rajan rajalle, jossa pitoisuus on kymmenesosa maksimipitoisuudesta. Pitoisuudet siis määrittävät kaasupilven suuruuden. [13, s.7-9]

SUKEVA-ohjelmistolla pystyy myös määrittämään alueen, jolle ainetta suoraan levitetään. alueelle voidaan antaa levittämispituus, korkeus ja päästönopeus. Tutkimus tarkastelee pistemäistä levityslähdettä joka tapahtuu maasta. Päästö nopeus SUKEVAN ohjelmassa on vakioitu. Tuulen suunta tutkittavassa tilanteessa on 3m/s. Muita muuttujia SUKEVA:n mukaan levittämistilanteessa on maastoluokka ja sääluokka. SUKEVA pyytää myös levittämistilanteeseen liittyen levitettävää ainetta sekä levityslämpötilaa, mutta näillä ei ole ohjelmassa merkitystä aineen leviämiseen. Tässä tutkimuksessa muut muuttujat ovat vakioita. Arvot, joita tutkimuksessa muutetaan, ovat maastoluokka ja levitystapa. [13, s.1-10]

Kaasun leviämistä tarkastellaan kolmessa eri maastoympäristössä (aukea pelto, metsä ja asuinalue) tässä tutkielmassa. Levitettävällä aineella ei ole vaikutusta kaasun leviämiseen. Leviämiseen vaikuttavat siis SUKEVA:n mukaan levitystapahtuma sekä luonnon olosuhteet levityksen aikana. [15, s.5]

SUKEVA piirtää valmiiksi pitoisuus rajoja. Pitoisuus rajat ovat oletusarvoja tunnin pelastustoiminnalle: vakavat vaikutukset, merkittävät vaikutukset ja vähäiset vaikutukset. Annoskertymä kertoo aineen vaikutukset ihmisen terveydelle seuraavalla perusjaolla: Kauimmainen raja lähteestä on lievät vaikutukset. Seuraavan rajan sisällä 5% henkilöstöstä on toiminta kyvyttömiä. Sisin alue raja sisäpuolella yli 50% henkilöstöstä on kuolleita. Koska yhtenä tutkimuskysymyksenä oli tarkastella kemiallisten aineiden vaikutusta ihmisterveydelle, tarkastellen kaasun leviämistä annoskertymän kautta (mgmin/m^3). [13, s.15] SUKEVA ei kuitenkaan erotellut kemiallisia taisteluaaineita vaan antaa samat vaikutusarvot kaikille aineille. Tämän takia tutkimuksessa tarkasteltava sisin alue raja jonka sisäpuolella SUKEVA:n mukaan 50% henkilöstöstä kuolee luetaan, että 50% henkilöstöstä saa kemikaalin aiheuttamat maksimioireet.

3.2.Sääolosuhteiden ja maaston vaikutukset kaasujen leviämiseen

Tässä kappaleessa käydään läpi jo aiemmin mainittujen olosuhteiden vaikutuksia kaasujen leviämiseen. Tuuli ja sen suunta ja nopeus vaikuttavat leviämiseen. Ilmanpaine vaikuttaa kaasujen käyttäytymiseen kuten ilman lämpötila, turbulenssi sekä kosteus [4, s.80]. Voimakas tuuli aiheuttaa kaasun leviämisen tuulen suunnan mukaisesti ja nopeus vaikuttaa siihen kuinka vahvasti kaasu leviää tuulen mukaisesti [4, s.80]. Tuuli olosuhteet on siis tiedettävä mahdollisimman tarkasti levitysalueella jotta kaasu saadaan vaikuttamaan alueella haluttuun kohteeseen. Osa kemikaaleista liukenee huonosti veteen jolloin korkea ilmankosteus ja sade haittaavat aineen leviämistä ilmassa ja tehokasta kaasupilveä ei muodostu [4, s.81]. Myös maastoluokka vaikuttaa kaasun leviämiseen. leviäminen on nopeampaa aukeilla alueilla, jolloin kaasuihin myös vaikuttavat myös sääolosuhteet paljon enemmän. Tämän takia nämä kaksi kokonaisuutta ovat vuorovaikutuksissa toisiinsa. Rakennetulla alueella sääolosuhteiden vaikutus on pienempi rakennusten rajatessa ja ohjatessa kaasun kulkeutumista. Tässä tutkimuksessa tuuliolosuhteet ovat kuitenkin vakioituneet.

SUKEVA-ohjelmisto ei ota huomioon korkeuskäyrien muutosta tai maastoluokan muutoksia leviämisen [13, s.8]. Sääluokkia ohjelmassa kuusi A:sta F:ään. A kuvaa erittäin epävakaita sääolosuhteita ja F on erittäin stabiili sääluokka. Luokat B-E ovat näiden ääriluokkien väli-luokkia. [11, s.12]. Tässä tutkimuksessa tutkimuksen kohteena ovat vain stabiilit olosuhteet, joten käytämme sää-luokka F:ään. Maastoluokkaa SUKEVA kuvataan rosoisuusparametrilla. Rosoisuusparametrin arvo kuvaa maastoluokan yleisintä estekerrointa. Rosoisemmalla maas-toluokalla on suurempi estekerroin. Mallinnettavista maastoista pellolla on pienin rosoisuus-kerroin ja kaupungilla suurin. [13, s.9]

3.3.Kemiallisten taisteluaineiden vaikutus kaasupilven leviämiseen

Osa kemiallisista taisteluaineista on raskaampia kuin toiset, jolloin kaasun ei leviä yhtä laajal-le alueelle kuin kevyemmät aineet. Osa aineista levitetään ympäristöön pisaroina, jolloin kaa-su muodostuu vasta kemiallisen taisteluaineen jo ollessa maastossa. Tällöin tuuli tai levitys mekanismista johtuva kaasun kulkeutuminen ei vaikuta aineeseen yhtä suuresti, kuin suoraan kaasuna levitettäviin aineisiin. SUKEVA erottele kaasujen ominaisuuksia sillä ohjelma piir-tää vaikutuksen altistuneisiin annoskertymän mukaan [15, s.5].

3.4.Kemiallisten taisteluaineiden levitysmekanismien vaikutus kaasupilven leviämiseen

Aikaisemmin mainittujen levitystapojen pohjalta voidaan todeta, että osa taistelukaasuista levitetään suoraan ilmaan, jolloin levitysmekanismiin liike ja tuuliolosuhteet vaikuttavat suu-resti kaasun leviämiseen. Tällainen levitysmekanismi on esimerkiksi suoralevitys. Vasta maassa vapautuviin taisteluaineisiin tuuliolosuhteet eivät vaikuta kaasun leviämiseen niin vah-vasti. Tällaisia levitysmekanismeja ovat esimerkiksi erilaiset kranaatit, raketit, ohjukset ja miinat, jotka räjäytetään vasta halutulla vaikutusalueella. Tällöin vaikutus on tarkempi, mutta kaasu pilvi ei ole yhtä laaja kuin suoraan ilmasta levitettäessä.

Ilmakaasujen päästötilanteet voivat olla SUKEVA ohjelmiston mukaisesti luokiteltuna hetkel-linen räjähdys tai linjalähde, puolijatkuva tai jatkuva päästö. Räjähdys (esim. ammuksen) on hetkellinen päästö. Jatkuva päästö voi olla esimerkiksi vuotava säiliö tai spray, mutta ne voi-daan lukea päästöajan mukaan puolijatkuviksi. Linjalevitys kuvaa lentokonelevitystä tai il-massa linjamaisesti tapahtuvia ilmapäästöjä räjähdyksinä. [13, s.15–22] Linja levitystä ei täs-sä tutkimuksessa tarkastella, koska se voidaan kuvata hetkellisenä tai jatkuvana levitystapana [13,s.17–35]

4. KAASUJEN LEVIÄMINEN

Tutkimuksessa tarkastellaan kuutta erilaista leviämistilannetta: Levittäminen metsässä, pellolla ja kaupungissa, joista jokaisesta tarkastellaan hetkellisen ja jatkuvan lähteen leviäminen. Sukeva antaa levityssuunnassa tapahtuvan leviämispituuden kymmenen metrin tarkkuudella. Tämä tulee ottaa huomioon tulkitessaan tuloksissa näkyviä pieniä prosentuaalisia vaihteluita. Muuttuja, jota tarkastellaan aineiden leviämisessä, on leviämisseuunnan annoskertymien alueen halkaisija. Leviämisen pituus määrillä ei ole merkitystä vaan niitä verrataan toisiin prosentuaalisesti, jolloin saadaan tietää maastoluokan tai levitystavan tuomat eroavaisuudet leviämistilanteisiin.

Sininen alueraja (lyhenne R1) kuvaajassa merkitsee rajaa, jonka sisäpuolella 50 % altistuneista kuolee. Punaisen rajan (lyhenne R2) sisällä 5 % altistuneista henkilöistä joutuu toimintakyvyttömään tilaan. Vihreän rajan (lyhenne R3) sisäpuolella kohteet saavat vain lieviä oireita kemiallisesta taisteluaineen vaikutuksesta. Rajojen ulkopuolella taisteluaineen annoskertymä on niin pieni, ettei aiheuta vaikutusta altistuneille henkilöille.

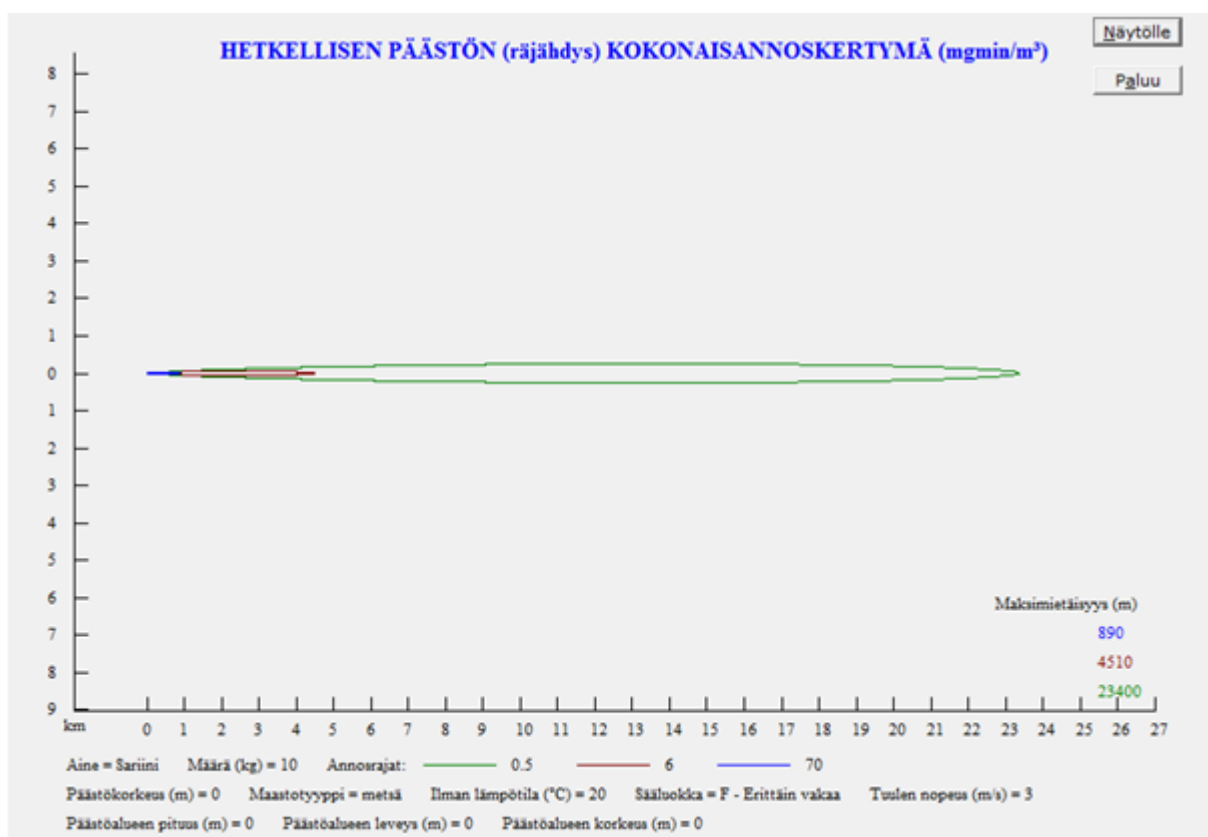
Tarkastelussa taisteluaineiden vaikuttavuutta tarkastellaan vain R1-ajan sisällä. Tällä alueella taisteluaineen vaikutukset joukon toimintakykyyn ovat merkittäviä. R1- rajaa ja R2-rajaa verrataan leviämisaueen R3 rajaan, jolloin saadaan selville kuinka maastoluokat vaikuttavat taisteluaineen vaikuttavuuteen.

Tarkastelua käydään vain hetkellisen ja jatkuvan leviämisen vertailemiseen eri maastoissa. Laskenta tilanteissa käytetään seuraavia arvoja:

- Levitettävä aine 10kg sariinia
- Sääluokka stabiili F ja tuulennopeus 3m/s
- Leviämisaika 1000 min (kokeellisesti todettu raja-arvo)
- Päästöaika 10min. (kokeellisesti todettu raja-arvo)
- Laskentamalli ei ota haihtumista huomioon
- Levityslähteet ovat pistekohteita

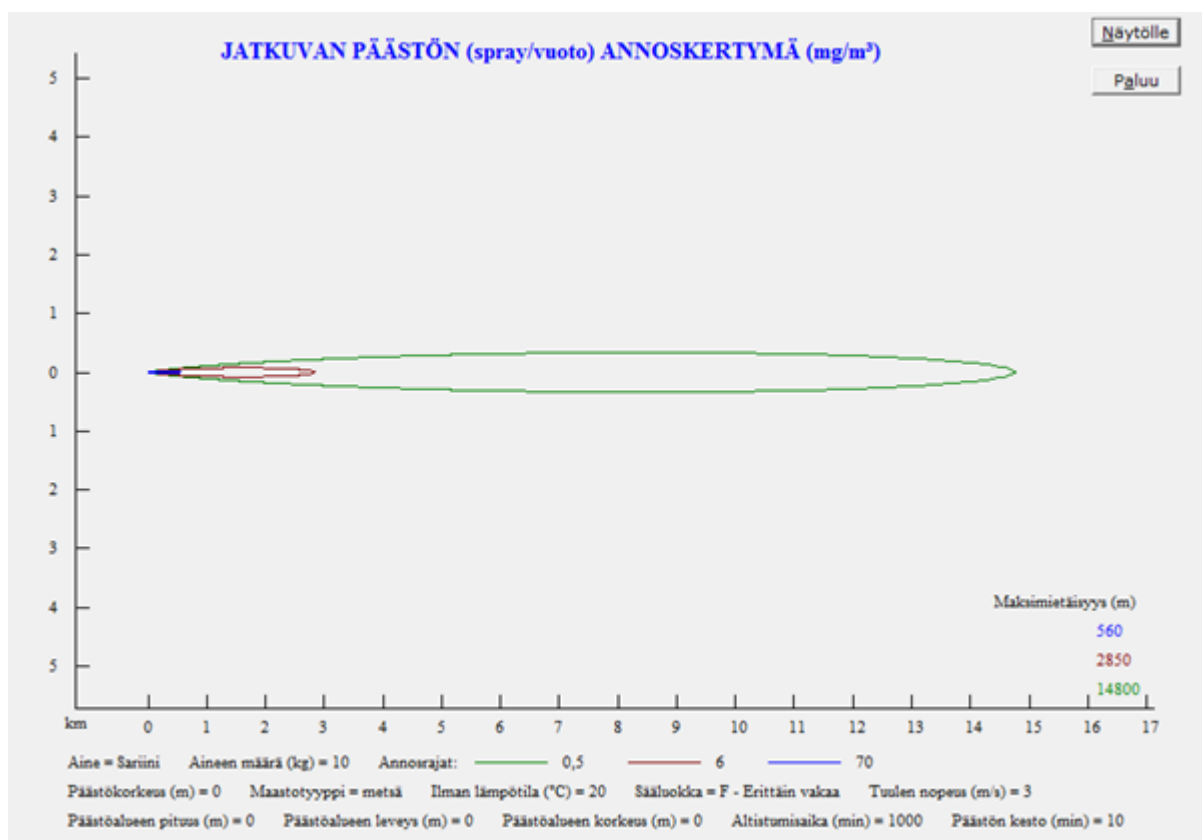
4.1. Kaasun leviäminen metsässä

SUKEVA – ohjelman metsää kuvaavalla rosoisuusparametrilla voidaan kuvata myös suurin osa suomalaisista asutuskeskuksista(, keskimääräisen esteen korkeus 10 metriä,) lukuun ottamatta isojen kaupunkien varsinaisia ydin keskuksia. Hetkellinen päästö metsässä [Kuva 1] annoskertymät jakautuvat siten että: 50 % henkilöstöstä kuolee tuulen suunnassa tapahtuvassa leviämisessä 890 metrin päähän. Eli jos ainetta levitettäisiin tuulen mukana joukkueen ryhmittymisen suuntaisesti, saataisiin joukkueelle tuntuvia tappioita. 4510 metrin päässä leviämisuuntaan 5 % kohdehenkilöistä joutuu toimintakyvyttömiksi. Lieviä vaikutuksia on 23400 metrin päähän.



Kuva 1: Hetkellinen päästön annoskertymä levitysmaastona metsä

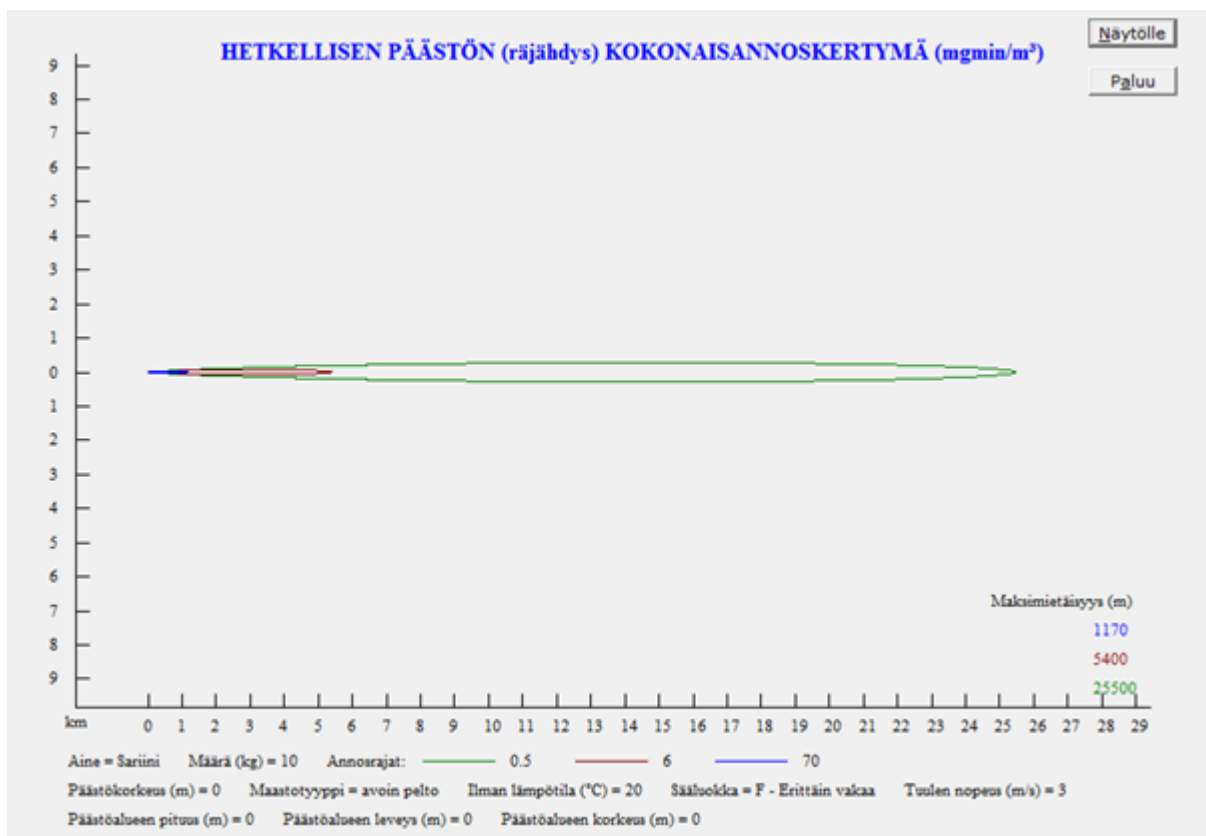
Jatkuvassa päästössä leviämisen annosrajat metsässä ovat huomattavasti pienemmät, kuin hetkellisellä päästöllä [Kuva 2]. 50 % tappiot saadaan aikaan vain 560 metrin pituudelta leviämissuunnassa. 5 % altistuneesta joukosta on toimintakyvyttömiä 2850 metriin saakka. Lieviä myrkytysoireita altistuneilla esiintyy 14800 metriin asti. Verrattuna hetkellisen levitystavan raja-arvoihin, ovat jatkuvan leviämisen arvot keskimäärin 65 % hetkellisen levittämistavan arvoista [Taulukko 2]. Tämä voi osittain johtua siitä, että koska leviämisaika on suurempi, sääluokan vaikutus leviämiseen on suurempi. Tämän voi havaita jatkuvan levitystavan kuvaajan ollessaan leveydeltään huomattavasti suurempi, kuin hetkellisen levitystavan kuvaaja (vertaa Kuva 1 ja Kuva 2).



Kuva 2: Jatkuvan päästön annoskertymä levityismaastona metsä

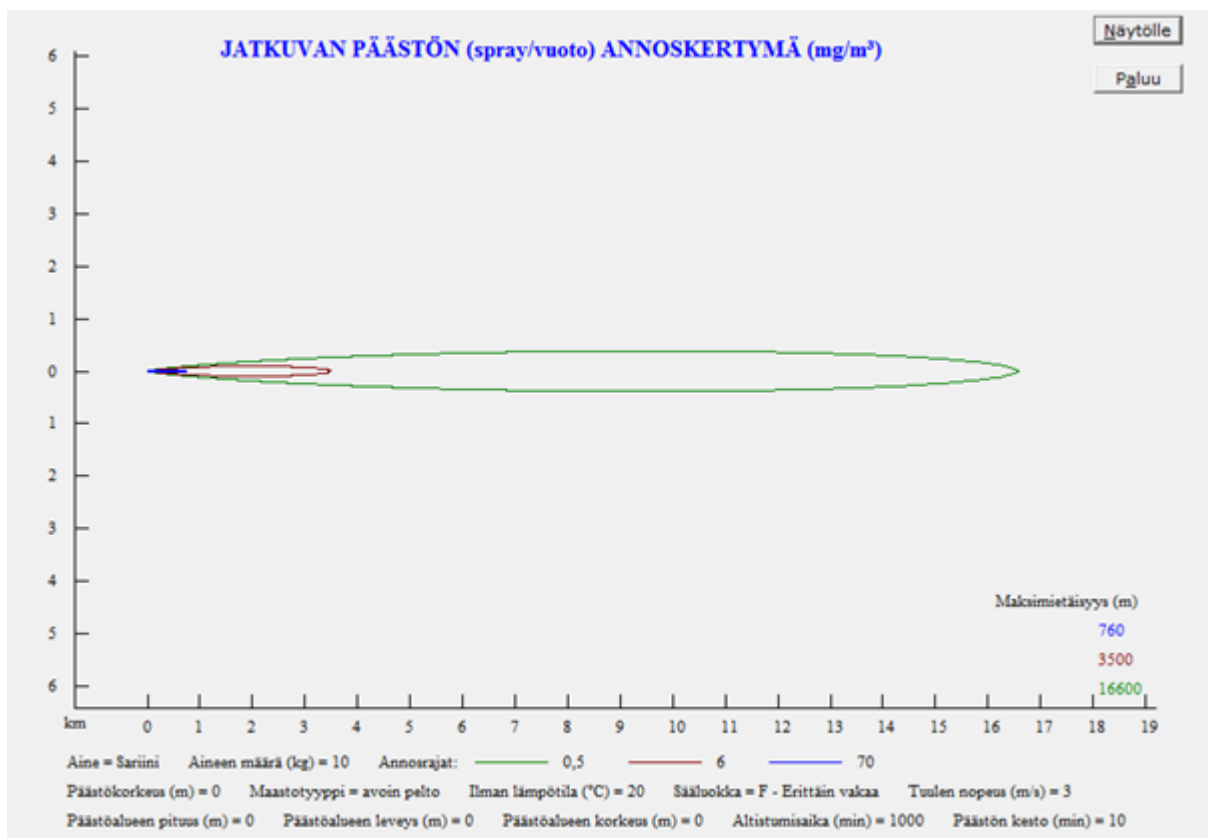
4.2. Kaasun leviämien avoimella pellolla

Koska pellon rosoisuusparametri on tilanteista pienin, sen leviämispituudet ovat maastoluokista pisimmät. Ensimmäisen annosrajan pituus hetkellisessä päästössä 1170 metriä [Kuva 3]. Seuraava raja-arvo on pituudessa 5400 metriä ja viimeisin rajapituus, jossa altistuneille tulee myrkytysoireita, on 25500 metriä [Kuva 3].



Kuva 3: Hetkellisen päästön annoskertymä levitysmaastona pelto

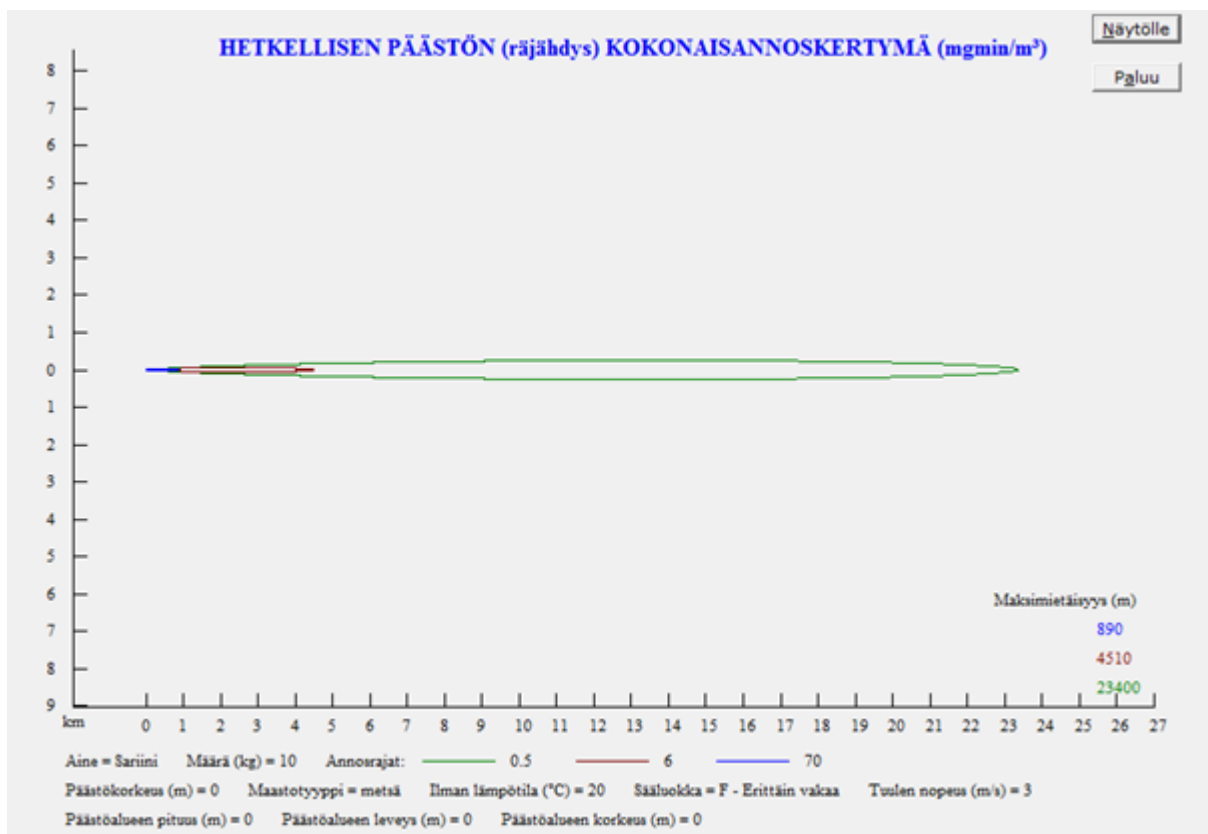
Jatkuva päästön annoskertymien leviämispituudet on noin 63 % hetkellisen levitystavan pituuksista [Taulukko 2]. Jatkuvan päästön annoskertymän ensimmäinen raja arvo, eli 50 % altistuneista kuolee, on 760 metriä. 3500 metrissä on seuraava raja-arvo jonka sisäpuolella 5 % henkilöstöstä on toimintakyvyttömiä. Lieviä vaikutuksia pellolla tapahtuvassa jatkuvassa päästössä on 16600 metriin asti. [Kuva 4] Kuten jo metsässä tapahtuvassa leviämistilanteessa mainittiin, aineen leviämisajan ollessa pitempi, siihen vaikuttaa sää olosuhteet enemmän takia. Tämän takia jatkuvan päästön kuvaajan annosrajojen pituudet ovat lyhyempiä, mutta leveämpiä (vertaa kuvat Kuva 3 ja Kuva 4).



Kuva 4: Jatkuvan päästön annoskertymä levitysmaastona pelto

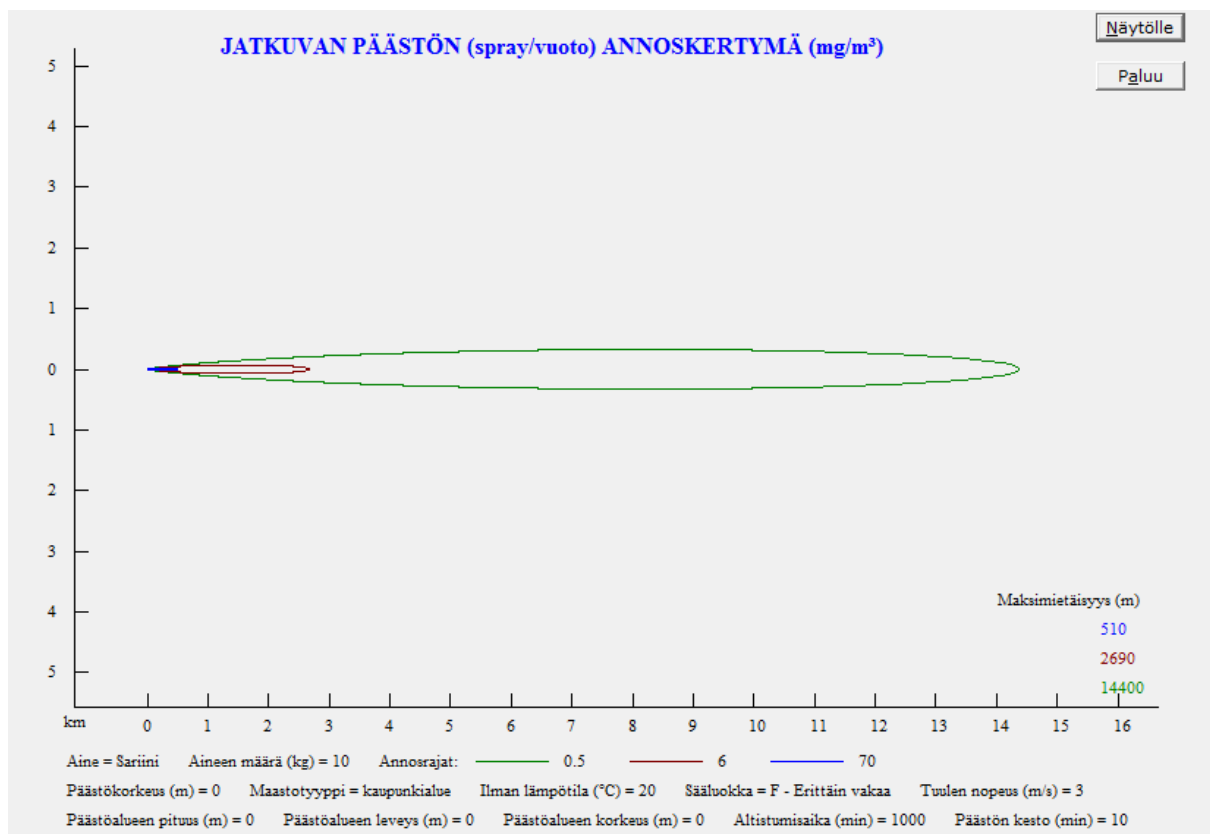
4.3. Kaasun leviämien kaupungissa

Viimeisenä tilanteena kaasun leviämistä tarkastellaan kaupunki olosuhteissa, joissa rakennukset ovat keskimäärin 30 metrin korkuisia. Vaikka tämän kaltaisia alueita on maantieteellisesti hyvin vähän, ovat tämän tapaiset keskittymät hyviä kohteita kemiallisille taisteluaineille ja niiden tehokkuus ja tuhovaikutukset saadaan maksimoitua. Kaupungissa tapahtuva leviämisen vaikutusten raja-arvon ovat pituuksiltaan lyhyimmät, koska sillä on myös suurin estekerroin. Hetkellinen leviäminen tuottaa 50 % tappiot 890 metrin päähän. 5 % joukoista saadaan toimintakyvyttömiksi 4510 metrin päähän. 23400 metrin päähän leviämissuunnassa saadaan aikaan lieviä oireita altistuneille.



Kuva 5: Hetkellinen päästön annoskertymä levitysmaastona kaupunki

Jatkuvan päästön kuvaaja on taas hieman leveämpi hetkellisen päästön, johtuen jo muissa tilanteissa mainituiden perusteiden mukaisesti. Jatkuvan päästön raja-arvojen pituudet ovat noin 62,5 % hetkellisen päästön pituuksiin verrattuna [Taulukko 2]. 50 % tappiot aiheutuu aina 510 metrin päähän. 5 % altistuneesta joukosta menee toimintakyvyttömiksi aina 2690 metrin päähän leviämissuunnassa. Lieviä altistusoireita tulee vielä 14400 metrin päähän. [Kuva 6]



Kuva 6: Jatkuva päästön annoskertymä levitysmaastona kaupunki

4.4. Tulokset

Jatkuvan lähteen kuvaajat ovat leveämpiä kuin hetkellisen päästön kuvaajat sää olosuhteiden vaikuttaessa enemmän kaasun leviämiseen. Tämän takia myös leviämissuunnassa näkyvät annosrajojen halkaisija pituudet ovat huomattavasti lyhyempiä. Jatkuvan levityksen annosrajat olivat keskimääräisesti noin 64% hetkellisen räjähdysen vastaavista rajoista [Kaavio 1]. Alueet ovat kuitenkin pinta-alaltaan lähellä toisiaan. Voidaan kuitenkin kuvista todeta, että jos halutaan levittää taisteluainetta leveys suunnassa jollekin alueelle, jatkuva levitystapa on parempi. Jos aine halutaan levittää jollekin alueelle tehokkaasti tiettyssä suunnassa, hetkellinen levitystapa on tehokkaampi.

Annosrajojen prosentuaaliset erot levityksessä eivät juuri muuttuneet levitystavan vaihtuessa. Pientä prosentuaalista pienenemistä on kuitenkin huomattavissa rosoisuuskerroimen kasvamisen myötä. Pellolla tapahtuvassa leviämisessä kummallakin levitys tavalla R2 oli 21,2 % R3:ta ja R1 oli noin 4,6 % R3:ta. Metsässä rajoja verrattaessa R3 prosentit olivat R2:lla 19,3 % ja R1:llä 3,8 %. Kaupungissa tapahtuvassa leviämisessä prosentit olivat R3 verrattain: R2 18,7 % ja R3 3,6 %. [Kaavio 1]

TILANTEET	Pelto, R1	R2	R3	Metsä, R1	R2	R3	Kaupunki, R1	R2	R3
Hetkellinen (m)	1170	5400	25500	890	4510	23400	820	4290	23000
RX/R3	4,6 %	21,2 %	100,0 %	3,8 %	19,3 %	100,0 %	3,6 %	18,7 %	100,0 %
Jatkuva (m)	760	3500	16600	560	2850	14800	510	2690	14400
	4,6 %	21,1 %	100,0 %	3,8 %	19,3 %	100,0 %	3,5 %	18,7 %	100,0 %
J/H	65,0 %	64,8 %	65,1 %	62,9 %	63,2 %	63,2 %	62,2 %	62,7 %	62,6 %

Kaavio 1: Leviämispituudet verrattuna leviämistapahtuman uloimpaan annosrajaan. J/H sarakkeessa verrataan jatkuvan leviämisen saman maastoluokan samaa annonrajanpituutta hetkelliseen leviämiseen

Maastoluokittain verrattain pellolla tapahtuvan levityksen pituudet ovat pisimpiä, johtuen että alueen rosoisuusparametri eli este kerroin on pienin. Seuraavaksi pisimmät pituudet ovat metsässä tapahtuvissa leviämisissä. Kaupungissa tapahtuvassa leviämisessä ovat kaikkein lyhyimmät leviämisepituudet. Jatkuvan ja hetkellisen päästöä verratessa rosoisuuskerroin vaikuttaa enemmän jatkuvaan levitystapaan, johtuen siitä että pitemmän ajan levityksessä maasto kerroin vaikuttaa enemmän kaasun leviämiseen. Verrattain levitystapahtumien metsän ja kaupungin R1 raja-arvoja pellon R1:n arvoon huomataan: metsän jatkuvan R1 arvo on 73,7 % ja hetkellisen R1 on 76,1 %. Vastaavat arvot verrattaessa kaupungissa tapahtuvaa leviämistä pellolla tapahtuvaan leviämiseen ovat: jatkuva 67,1 % ja hetkellinen 70,1 %. Tämä prosentuaalinen voidaan huomata verratessa mitä tahansa samaan raja-arvojen prosenttiarvoja hetkellisen ja jatkuvan levitystavan välillä. [Kaavio 3 ja 4]

JATKUVA	Pelto R1	R2	R3	Metsä R1	R2	R3	Kaupunki R1	R2	R3
Pelto R1	100,0 %			73,7 %			67,1 %		
R2	21,7 %	100,0 %		16,0 %	81,4 %		14,6 %	76,9 %	
R3	4,6 %	21,1 %	100,0 %	3,4 %	17,2 %	89,2 %	3,1 %	16,2 %	86,7 %
Metsä R1				100,0 %			91,1 %		
R2	26,7 %			19,6 %	100,0 %		17,9 %	94,4 %	
R3	5,0 %	23,6 %		3,8 %	19,3 %	100,0 %	3,4 %	18,2 %	97,3 %
Kaupunki R1							100,0 %		
R2	28,3 %			20,8 %			19,0 %	100,0 %	
R3	5,3 %	24,3 %		3,9 %	19,8 %		3,5 %	18,7 %	100,0 %

Kaavio 2: Jatkuvien levitystapojen annosrajojen leviämisepituudet verrattuna toisiinsa

HETKELLINEN	Pelto R1	R2	R3	Metsä R1	R2	R3	Kaupunki R1	R2	R3
Pelto R1	100,0 %			76,1 %			70,1 %		
R2	21,7 %	100,0 %		16,5 %	83,5 %		15,2 %	79,4 %	
R3	4,6 %	21,2 %	100,0 %	3,5 %	17,7 %	91,8 %	3,2 %	16,8 %	90,2 %
Metsä R1				100,0 %			92,1 %		
R2	25,9 %			19,7 %	100,0 %		18,2 %	95,1 %	
R3	5,0 %	23,1 %		3,8 %	19,3 %	100,0 %	3,5 %	18,3 %	98,3 %
Kaupunki R1							100,0 %		
R2	27,3 %			20,7 %			19,1 %	100,0 %	
R3	5,1 %	23,5 %		3,9 %	19,6 %		3,6 %	18,7 %	100,0 %

Kaavio 3: Hetkellisen levitystapojen annosrajojen leviämispituudet verrattuna toisiinsa

Kemiallisten taisteluaineiden vaikutusta leviämisaalueella on vertailu Liitteessä 2, jossa on otettu myös huomioon levitystapa ja levitysmaasto. Vaikutusta on tarkasteltu vain R1 raja-arvon alueella, koska tämä on aluetta jolla aineiden käyttäjä saa maksimaallisen vaikutuksen asean kemikaalin myrkytysvaikutuksella. Muilla alueella aineen tuomat haitat altistuneille joukoille on niin pieniä, ettei niillä ole taisteluaineen käytössä merkitystä. Liitteessä 2 on myös toistettu Kaavion 2 ja 3 prosenttimäärät, siitä kuinka paljon R1 on prosentteissa R3. Tässä liitteessä nähdään selkeänä koosteena maastoluokan vaikutus taisteluaineen leviämisessä sekä levitystapojen vertailut keskenään.

Tabuuni tappaa 50 % altistuneista R1- rajan sisäpuolella. Syaanivety aiheuttaa saman rajan sisäpuolella 50 % altistuneet menevät toimintakyvyttömiksi ja osa maksimi altistuneen saaneista kuolevat altistusoireisiin. Rikkisinappi kaasu aiheuttaa toimintakyvyttömyyttä viiveellä 50 % altistuneista. CS aiheuttaa R1-rajalla toimintakyvyttömyyttä vain 10 minuutiksi altistuneiden poistuttua aineen vaikutusalueella. Leviämisrajojen prosenttiarvot ovat taisteluaineilla samat. Jatkuvan levitystavan R3 on 64 % hetkellisen levitystavan vastaavan maastoluokan R3. Pellolla R1 raja-arvot olivat R3 arvosta 4,6 %. Metsässä vastaava arvo on 3,8 % ja Kaupunki olosuhteissa 3,6 %. Rosoisemmillä alueilla aineen tehokas alue, jolla saadaan mahdollisimman vakavasti altistuneita joukkoja, on kokonaisleviämisaalueisiin verrattain pienempiä kuin tasaisemmillä alueilla. [LIITE2]

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä, että hetkellinen levitystapa on tehokkaampi levitystapa silloin kun vaikutus halutaan saada tiettyyn suuntaan esim. tuulen mukana leviäväksi. Jatkuva vuoto kattaa tuulen suuntaan katsottuna leveämmän alueen eli tehokkaampi jos halutaan aineen pysyvän levitysalueella. Tilanteet, joissa kohteen paikka ei ole tarkasti selvillä, ovat tilanteita joissa kaasun halutaan leviävän mahdollisimman leveälle. Kaasun on tehokkaimmillaan alueilla, joissa maaston estekerroin on mahdollisimman pieni, jolloin alue joka vaikuttaa merkittävästi altistuneiden joukkojen toimintakykyyn, on suurempi. Pienemmillä määrillä samaa ainetta saadaan suurempi vaikutus altistuneisiin tasaisemmillä alueilla, kuin alueilla joissa on maaston esteitä. Voidaan myös päätellä että kaupunki alueilla suurempi määrä taisteluaainetta saadakseen saman vaikutuksen, kun laakeilla alueilla.

Taisteluaineiden aiheuttamat myrkytysoireet riippuvat täysin siitä mitä taisteluaainetta levitetään. Hermokaasut aiheuttavat suurina altistusmäärinä kuolemaa. Syövyttävät aineet pitkä aikaista toimintakyvyttömyyttä. Yleismyrkylliset aineet aiheuttavat toimintakyvyttömyyttä, jonka seurauksena voi aiheutua altistuneiden menehtymistä. Ärsyttävät ja tukahduttavat aineet tuottavat vain hetkellistä toimintakyvyttömyyttä. [LIITE1]

Vaikka SUKEVA ei huomio laskuissaan kemiallisten aineiden vaikutusta aineen leviämistä, antaa ohjelma kuitenkin kenttäolosuhteisiin tarpeellisen tarkkaa tietoa. Kaasujen massojen erot ovat hyvin pieniä, ettei leviämisessä näkyisi suuria eroavaisuuksia. Suurin heikkous SUKEVA:ssa on kuitenkin se, ettei se pysty havainnoimaan maaston muutoksia ja korkeuskäyriä ja näiden vaikutuksia kaasun leviämiseen. Sääluokan muutokset ovat myös mahdollisia laskennan mallille ja tuuli voidaan piirtää vain yhden suuntaiseksi. Tuuli on kuitenkin mahdollista piirtää kääntyväksi, piirtämällä tilannekuvaa esim. minuutin välein, mutta tämä on kuitenkin erittäin työläs tapa työskennellä. Taistelutilanteessa tällä on suuri merkitys esim. harjanne tai järvi taktisesti hyvässä paikassa voi estää kaasun leviämisen joukon päälle vaikka malli antaisi kuvan, jossa joukot tulisivat olemaan altistumisvaarassa erittelemättä todenmukaisuutta. Koska SUKEVA antaa myös taisteluaineiden myrkytysvaikutuksetkin yhtenäisenä arviona mitään ainetta, antaa ohjelmisto hyvin samanlaisia vaikutusrajoja vahvasti vaikuttaville ja vain hieman ärsyttävillä aineilla. Tämän takia annosrajojen pituuksia ei tulisi tulkita täytenä totuutena vaan osattava tulkita niitä tilanteen mukaan. Käyttäjän tulkinta heikentää aina mallinnuksen tulosta. Ympäristössä on niin paljon eri muuttujia, ettei niitä kaikkia voi arvioida.

Malli ei näytä totuutta kuinka kaasua tulee leviämään vaan antaa tietoa leviämisen mahdollisesta tapahtumasta.

SUKEVA:n myrkytysvaikutukset ja alueet joissa aineet vaikuttavat altistuneisiin henkilöihin perustuu ajatukseen että altistuneet henkilöt ovat suojautumattomia, koska suojautuneena altistuneet eivät saa maksimialtistusta. Suojautuessa oikein voi kemiallisesta taisteluaineen myrkytysoireiden ilmaantumisen ja siten altistumisen estää lähes täysin nykyaikaisilla suojavausteilla. Suojautuminen tulee kuitenkin tehdä ennen aineelle altistumista ja suoja varusteet eivät kestä loputtomiin saastuneissa olosuhteissa, vaan alkavat vuotaa. Suojautuessa suojaapuku myös saastuu joka tekee siitä lähes kertakäyttöisen, koska joitain taisteluaineita on hyvin vaikea puhdistaa pinnoilta. [9] Joukot eivät siis kestä pitkäaikaista saastumista tai useaa saastumistilannetta. SUKEVA:a voidaan siis hyödyntää sen arvioimisessa kuinka kauan joukot joutuisivat olemaan saastuneella alueella, ja jos suojaus pettäisi mikä olisi taisteluaineen vaikutuksen määrä altistuneille joukoille. Malleilla voidaan myös arvioida vihollisen aseiden käyttöä. Siitä voidaan johtaa arvio, että monta kertaa joukko voi joutua toimimaan saastuneella alueella ja suojavaelineitä voidaan varata sen mukaisesti. Olettaen tietenkin että saastuneiden alueiden välillä on puhtaita alueita, joissa joukko voi vaihtaa suoja välineet.

Tässä tutkielmassa SUKEVA:n käyttö on ollut hyvin teoreettisella tasolla. Ohjelmaa voi kuitenkin myös hyödyntää reaaliaikaisen taistelukentän CBRN-tilanteiden kuvaamiseen. Ohjelmalla voidaan luoda kokonaisen kemiallisen taisteluaineen käytön tilanne aikaan ja joukkueen toimintaan sitoen. Sitä voidaan hyödyntää jo tapahtuneiden kemiallisten aineiden käytön tilanteisiin. Näin tapahtumien kulusta voidaan saada uutta tietoa. Ohjelmalla voidaan tehdä myös ennalta ehkäiseviä riskikartoituksia erilaisille kemiallisille kohteille, kuten kemian laitoksille.

SUKEVA:n ollessa täysin uusi ohjelma ei sitä ole ehditty kouluttaa varusmiesjoukoille. Ohjelman toimimisesta olisi kuitenkin tärkeä saada ohjelman käytöstä tietoa maasto-olosuhteissa. Se saataisiin tällöin osaksi johlan tilannekuvaa ja osaksi taistelevien joukkojen toimintaa. Näin reaaliaikainen suojelutilanne kuva saadaan jokaisen joukon saataville sodan aikana kun sodan ajan joukot saavat pioneerijoukkojen avulla johtamisjärjestelmiinsä tietoja kaasujen leviämisestä. Kun ohjelmisto saadaan varusmiesten koulutukseen tarkoittaa tämä että tulevaisuudessa joukoille tarjoutuu mahdollisuus saada reaaliaikaista suojelukuvaa taistelui-

den aikana. Tällöin joukkueen johtaminen helpottuu, kun johtajien sen hetkinen taistelukuva on tarkempi.

Jatkotutkimusaiheina tämän tutkimuksen perusteella voisi olla sukevan toimintoihin parempi perehtyminen ja mallintamisen jatkaminen tilanteisiin, jotka vastaisivat mahdollisimman hyvin taistelukentän olosuhteita. Tulisi tutkia kuinka sääolosuhteet vaikuttavat kemiallisten taisteluaineiden leviämiseen. Kuinka paljon taistelukentän luonnonolosuhteiden huomioiminen hyödyttää aineiden käyttäjää levitystilanteessa. Pystyykö joitain luonnonilmiöitä käyttämään hyödyksi agenssin tehokkaassa levityksessä ja miten? Jatkotutkimuksen aiheeksi voisi ottaa myös teknisen ajattelu tavan, jossa sääolosuhteiden vaikutuksiin leviämisessä on otettu pääpainona kantaa.

Johdannossa mainitut Syyrian tapahtumat osoittavat että, vaikka kemialliset aseiden käyttö on suuressa osassa maailmaa kielletty, ei voi olla täysin varma ettei kriisitilanteen aikana omia joukkoja vastaan käytettäisi kemiallisia aseita. Jos kemiallisten aseiden käytön uhkaa osata tunnistaa tai siihen ei osata varustautua, hankaloittaa se omien joukkojen toimintaa kemiallisten aseiden käyttöuhat alaisissa tilanteissa.

LÄHTEET

- [1] *Joukkotuhooajat* [artikkeli]. Ulkoasiainministeriö. Asevalvonnan yksikkö. Päivitetty 22.8.2011. [viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: www.um.fi
- [2] *Suojelumies*. Pääesikunnan koulutusosasto. Pääesikunta. 1992
- [3] Toni Leikas. *Suojelun erikoisosaston käsikirja*. Maavoimien esikunta. Juvenes Print Oy. Tampere. 2012.
- [4] *SUOJELUOPAS*. Pääesikunnan koulutusosasto. 1990.
- [5] Tuomas Burke. *Kemiallisten taisteluaineiden tunnistus ja välineet*. Pro Gradu – tutkimus. Maanpuolustuskorkeakoulu. 2014
- [6] T.J.Gander. *Nuclear, Biological & Chemical WARFARE*. Englanti. 1987.
- [7] *Syria conflict: 'Chemical attacks kill hundreds'*. BBC. 21.9.2012. [viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: <http://www.bbc.co.uk/news/world-middle-east-23777201>
- [8] *Kansainvälisen Pioneeripataljoonan Ohje*. Pääesikunta/Maavoimaesikunta. Edita Prima Oy. Helsinki. 2004.
- [9] *Tipa* [tietokanta]. SUKEVA-ohjelmisto. 2014
- [10] *Suojelun käsikirja*. Puolustusvoimien Koulutuksen kehittämiskeskus. Pääesikunta. Helsinki 1996.
- [11] SUKEVA *SUojelun KEnttä VAaranhallintasovellus CBRN Leviämismallien Käyttöohje Versio 1.1.1*. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos RS-osasto. Suojelutekniikka. Ylö-järvi. 31.12.15
- [12] Kari Riikonen, Arto Jäppinen, Jaakko Kukkonen, Juha Nikmo. *Kemiallisten taisteluaineiden leviämisen arviointi suojealuvalvonnassa – Hitaasti höyrystyvät yhdisteet*. Puolustusvoimien tutkimuskeskus. Kirjapaino PAINOHÄME. Ylöjärvi. 1995
- [13] FM Arto Jäppinen. *SUojelun KEnttä VAaranhallintasovellus (SUKEVA) Matemaattinen kuvaus (kesken)*. Versio 0.8. 31.07.2013
- [14] Will Fowler, John Norris. *NBC nuclear, biological & chemical warfare on the modern battlefield*. UK editorial office. 1997
- [15] *CBRN Leviämismallit ohje*. SUKEVA-ohjelmisto. 2014

LIITE 1 KAASUNA LEVITETTÄVÄT TAISTELUAINEET

Luokka	Kemiallinen taisteluaaine	CAS rekn-ro	Ominaisuuksia	Vaikutustavat	Myrkytysoireet	Vaikuttavuus
Hermokaasut	Somaani	96-64-0	hajuton, väritön	hengitettynä/kosketus	Tappava, kouristelu, liman erityys, pahoinvointi, keuhkopöhö, hengityksen lamaantuminen	Kuolema noin 15 minuutissa
	Sariini	107-44-8	hajuton, väritön	hengitettynä/kosketus	Tappava, liman erityys, pahoinvointi, keuhkopöhö	Kuolema noin 15 minuutissa
	Tabuuni	77-81-6	hajuton, väritön	hengitettynä/kosketus	Tappava, liman erityys, lihasvapina, keuhkopöhö	Kuolema, ihon kautta kuolema 2 minuutissa ja hengitettynä 10 minuuttia
Syövyttävät kaasut	Sinappikaasu Rikkisinappikaasu	505-60-2	sinapin/sipulin/valkosipulin tuoksu, kellertävä	iho/limakalvot	Ihon punoitus ja kirvely, myöhemmin rakkuloiden muodostuminen, limakalvojen ärsyntyminen, pahoinvointi	Toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät viiveellä, silmäoireet esiintyvät ensimmäisenä ja iho oireet noin 4 tunnin kuluttua
	Levisiitti	541-25-3	hajuton, väritön	silmät/hengitettynä	ärsyttää voimakkaasti limakalvoja, sarveiskalvon vaurioita	Toimintakyvyttömyys, silmä oireet ilmenevät välittömästi
	Typsinappikaasu	555-77-1	hajuton, keltainen	silmät/iho	silmien ärsyntyminen, ihottuma, rakkulat	Toimintakyvyttömyys, silmä oireet ilmenevät välittömästi iho oireet 4-6 tunnin kuluttua
	CX diklooriformoksiimi fosgeenioksiimi	1794-86-1	Pistävä tuoksu, ei kaasuunnu alle	hengitettynä/limakalvot/iho	polttavaa kipua, limakalvoilla, tunnottomuus, sokeutuminen, keuhkopöhö, iho rakkulat, iho-kuolioita	Toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät välittömästi
Yleismyrkylliset aineet	Syaanivety Vetycyanidi	74-90-8	karvasmantelin haju, väritön	hengitettynä/limakalvot/iho	kuumotus ja punoitus iholla, hengenahdistus, pahoinvointi, kuolemaa edeltävät kouristukset	Kuolema/toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät nopeasti, toimintakyvyttömyys 1-2 min kuolema 15 min
	Kloorisyaani Syaanikloridi	506-7-4	pistävän, kirpeä haju, väritön	hengitettynä/limakalvot/iho	voimakasta hengitysteiden ärsyttymistä, iho ärtymys, pääkipu, vatsakipu, sydänkipu, hengityksen lamaantuminen, näköhäiriöt	toimintakyvyttömyys/kuolema, oireet ilmenevät välittömästi, kuolema muutaman minuutin kuluttua altistumisesta
	Arsiini Arsiinivety	7784-42-1	mieto valkosipulin tuoksu	iho/silmät	anemia, maksan ja munuaisen vaurioita, pahoinvointia, vilunväireitä,	Toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät 2-11 tunnin kuluttua altistumisesta

Ärskyttävät ja tukehduttavat kaasut	CS	2698-41-1	pistävä pippurimainen tuoksu, valkea	hengitettynä /limakalvot /iho	ärsytystä limakalvoilla, henkitorven tulehtuminen, kostealla iholla kirvelyä, pahoinvointi	Toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät nopeasti ja poistuvat noin 10 minuutissa
	CN α-klooriasetofenoni	532-27-4	tuoksu omenan-kukka väritön	hengitettynä/limakalvot/iho	silmäkipu, polttava tunne limakalvoilla, hapenpuute, auringonpolttamia iholla, keuhkopöhö	Toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät välittömästi, oireet häviävät minuuteissa
	CR	275-07-8	palaneen materiaalin tuoksu, kellertävä	hengitettynä/limakalvot/iho	silmäkipu, polttava tunne limakalvoilla, ihon punoitus	Toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät nopeasti, silmä oireet noin 10 minuutin ajan, iho ärtymys 15-30 min
	CA	5798-79-8	pilaantuneen hedelmän tuoksu, kellertävä	hengitettynä/silmät	hengitysvaikeuksia, polttava tunne silmissä, pahoinvointi	Toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät välittömästi ja kestävät vain muutaman minuutin
	CLARK-1 difenyyliklooriarsiini	712-48-1	hajuton, väritön	limakalvot	ärsytystä limakalvoilla, oksentelua, aivastelua	Toimintakyvyttömyys, oireet ilmenevät nopeasti ja poistuvat 1-2 tunnin kuluessa
	CLARK-2 difenyyliisanoarsiini	23525-22-6	tuoksu karvasmanteli ja valkosipuli, väritön	hengitettynä/limakalvot	silmien ja hengitysteiden ärtymys, polttava tunne limakalvoilla, oksentelua	Toimintakyvyttömyys oireet ilmenevät välittömästi ja poistuvat tunnissa
	Fosgeeni (karbonyylikloridi)	75-44-5	vastaniitetyn heinän tuoksu, väritön, voi muodostaa valkoista pilveä	hengitettynä/limakalvot	yskänärästys, päänsärky, oksentaminen	Toimintakyvyttömyys Oireet altistumisesta välittömästi, pienissä pitoisuuksissa 3 tunnin kuluessa, Oireet kumuloituvat
	Adamsiitti (fenaratsiini-kloridi, difenyyliamiini-klooriarsiini)	578-94-9	Hajuton, väritön	hengitettynä/limakalvot	Ei toksinen, polttava tunne limakalvoilla, pahoinvointi	Toimintakyvyttömyys noin 30min, Oireet ilmenevät nopeasti
	Difosgeeni	503-38-8	tuoksu vastaniitetty heinä	hengitettynä	vaurioittaa keuhkoja, hengityksen lamaantuminen, pahoinvointi, oksentelu	Toimintakyvyttömyys/Kuolema, Oireet ilmenevät välittömästi tai viimeistään 3 tuntia altistumisesta, oireet kumuloituvat

LÄHTEET:

[1] *Tipa* [tietokanta]. Sukeva-ohjelmisto. 2014

[2] John Norris, Will Fowler. *NBC – nuclear, biological & chemical warfare on the modern battlefield*. Brassey's (UK) Ltd. 1997

LIITE2

KEMIALLISTEN AINEIDEN LEVIÄMIEN

Maas- totyyp- pi	Levitystapa	Kemiallinen aine	R1 verrattu- na kokonais- vaikutusalue (R3)	Jatkuva levi- tystapa ver- rattuna het- kelliseen levitystapaan	Toimintakyky R1:n alueella
Metsä	Hetkellinen	Somaani	3,8 %	63 %	Kuolema
		CS			Toimintakyvyttömyys 10 minuuttia
		Syaanivety			Toimintakyvyttömyys/Kuolema
		Rikkisinappikaasu			Toimintakyvyttömyys viiveellä
	Jatkuva	Somaani	3,8 %		Kuolema
		CS			Toimintakyvyttömyys 10 minuuttia
		Syaanivety			Toimintakyvyttömyys/Kuolema
		Rikkisinappikaasu			Toimintakyvyttömyys viiveellä
Pelto	Hetkellinen	Somaani	4,6 %	65 %	Kuolema
		CS			Toimintakyvyttömyys 10 minuuttia
		Syaanivety			Toimintakyvyttömyys/Kuolema
		Rikkisinappikaasu			Toimintakyvyttömyys viiveellä
	Jatkuva	Somaani	4,6 %		Kuolema
		CS			Toimintakyvyttömyys 10 minuuttia
		Syaanivety			Toimintakyvyttömyys/Kuolema
		Rikkisinappikaasu			Toimintakyvyttömyys viiveellä
Kaupunki	Hetkellinen	Somaani	3,6 %	62,2 %	Kuolema
		CS			Toimintakyvyttömyys 10 minuuttia
		Syaanivety			Toimintakyvyttömyys/Kuolema
		Rikkisinappikaasu			Toimintakyvyttömyys viiveellä
	Jatkuva	Somaani	3,5 %		Kuolema
		CS			Toimintakyvyttömyys 10 minuuttia
		Syaanivety			Toimintakyvyttömyys/Kuolema
		Rikkisinappikaasu			Toimintakyvyttömyys viiveellä

Taulukkoon on valittu tutkimuksessa käytetystä neljästä eri kemiallisten taistelua-aineiden alaluokasta kustakin yksi

SUKEVA:n antamaan ensimmäiseen raja-arvoon R1. [1]

R1 raja-arvon sisäpuolella altistuneista 50 % saavat maksimi oireet.

R3 raja-arvon sisäpuolella altistuneet sotilaat saavat oireita. On SUKEVA-ohjelmiston

Jatkuvan ja hetkellisen levitystapahtuman raja-arvoja on verrattu toisiinsa tutkimuksen taulukon 2 mukaisesti. R1 raja-arvon suhde kokonaisuus leviämiseen on otettu tutkimuksen taulukosta 2.

LÄHTEET

[1] *Tipa* [tietokanta]. SUKEVA-ohjelmisto. 2014